

1. まえがき

原位置での岩盤三軸圧縮試験は、方形に切り残した岩盤塊に三主応力制御方式に基づいて載荷を行うものであり、上記の岩盤せん断試験やブロックせん断試験に比べ応力分布が比較的均等になり、局部的影響を受けにくいのが特徴である。しかしながら、その実施に際しては多大の労力と費用を必要とすることから、実施されることは希である。そこで室内三軸圧縮試験法の1つである擬似三軸圧縮試験法の考え方を導入した Fault Triaxial Test (FTT, 不完全擬似三軸圧縮試験) に着目し、有限要素法によるシミュレーション解析を行って、この試験法の特性和問題点を検討した。

2. FTTの概要

図-1に本試験法の概念図を示す。原位置岩盤にコアリングを行い円柱状の試験片を切り残し、この試験片に対して従来の擬似三軸圧縮試験の手法を適用するものである。



図-1 FTTの概念

3. 解析方法

本研究では、解析の対象として直径15cm、高さ30cmの円柱モデル岩石塊に、直径5cm、コア深さDの円柱試験片を切り残した場合を取り上げた。解析の対象とするコア深さは、写真-1に示した様なセメントモルタル製の円柱モデル岩石塊に、4種類のコア深さ(10.0, 12.5, 15.0, 17.5cm)を与えた場合の一軸圧縮試験を行い、試験片の破壊形式と一軸圧縮強度を考慮して12.5cmとした。表-1に一軸圧縮試験の結果を示す。比較のため、直径5cm、高さ12.5cmの円柱供試体も解析の対象とした。ここでは前者をFTT試験片、後者を標準試験片と呼ぶこととする。

有限要素法によるシミュレーション解析は、動力炉・核燃料開発事業団が開発した汎用非線形構造解析プログラム(FINAS)を利用して行った。図-2にFTT試験片と標準試験片の解析モデル図をそれぞれ示す。解析のパラメータは、試験片に与える周圧($p_c=0, 5, 10, 20, 40 \text{ kgf/cm}^2$)だけである。解析は所定の定周圧の下で軸方向荷重を逐次増分して行き、試験片部分の要素全域が塑性化あるいは試験片近傍の要素にマクロの破壊のメカニズムを形成するような塑性域が生じた時点で解析を終了した。表-2に解析に用いた岩石モデルの力学的性質と解析仮定を示す。

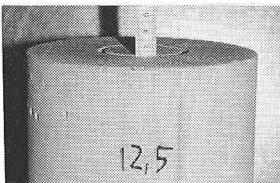
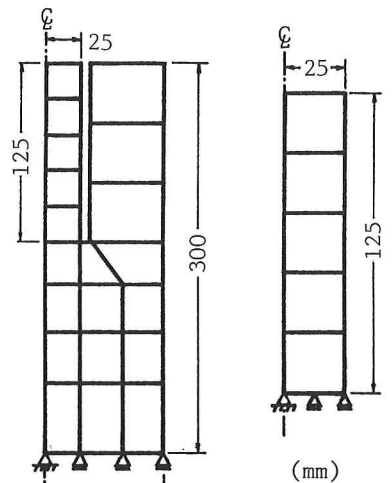


写真-1 円柱モデル岩石塊

表-1 予備実験の結果

コア深さ D (cm)	圧縮強度比 σ_c / σ_{co}
10.0	1.07
12.5	1.05
15.0	1.12
17.5	1.13

標準供試体 ($\phi 5 \times 10$)
 $\sigma_{co} = 481 \text{ (kgf/cm}^2)$



(a) FTT試験片 (b) 標準試験片

図-2 解析モデル図

表-2 岩石モデルの力学的性質と解析過程

弾性係数 (kgf/cm ²)	2.4×10^5
ポアソン比	0.18
せん断強度 (kgf/cm ²)	97.6
内部摩擦角 (度)	46.0
降伏条件	Mohr-Coulomb
要素モデル	8節点軸対称要素

4. 解析結果と考察

表-2に各周圧下における全試験片の最大軸応力を示す。FTT試験片にあっては、標準試験片よりも低周圧下においては強度が30%程度大きめに評価される傾向を示している。特に、周圧 $p_c=5 \text{ kgf/cm}^2$ の場合、FTT試験片の最大軸応力が特異的に大きく評価されている。試験片底部連続の影響が明瞭に現れている。図-3, 4は表-2の結果を利用してモールの破壊応力円を描いたものである。両試験片の破壊応力円を比較すると、FTT試験片の応力円は、標準試験片のその外側に描かれる。したがって、その包絡線を利用して導出されるせん断強度は、FTT試験片の結果を利用すると大きめに評価されることになる。一方、内部摩擦角については、他にシミュレーション解析を行っていないことから明確な評価が行えないが、大差は無いものの幾分大きめの結果を与えるものと推察される。FTTはこのような危険側の強度定数を与える傾向があることから、試験法としては消滅したものと考えられる。実用化に際しては、何らかの補正係数の導入が不可欠と言える。

図-5に解析終了時のFTT試験片内の塑性域の一例を示す。いずれの周圧下の場合も塑性化は溝の底部から起こり、軸応力の増加に伴って、次第に試験片の中部から上部そして下部へと広がって行く傾向を示したが、 $p_c=40 \text{ kgf/cm}^2$ の場合には塑性域が仮境界線より底部に発生し進行する傾向を示した。このことは、高い周圧の下では試験片内部の破壊ではなく、試験片近傍に生じたマクロの破壊のメカニズムにより最大荷重が決まることを示唆している。

表-3 最大軸応力(解析結果)

周圧 p_c	標準試験片 σ_{NO}	FTT試験片 $\sigma_{NF} (\sigma_{NF}/\sigma_{NO})$
0	484	621 (1.28)
5	514	738 (1.44)
10	545	708 (1.30)
20	606	734 (1.21)
40	729	824 (1.13)

単位: (kgf/cm²)

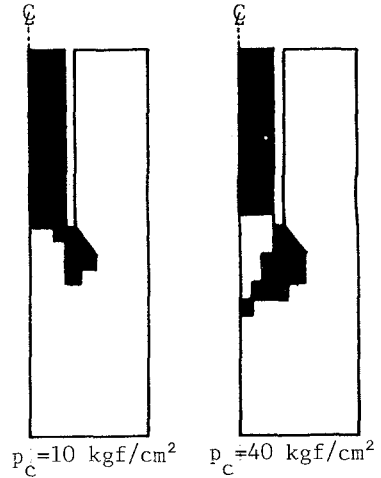


図-5 塑性域の一例

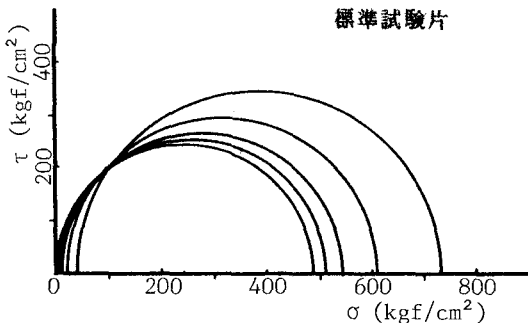


図-3 モールの破壊応力円

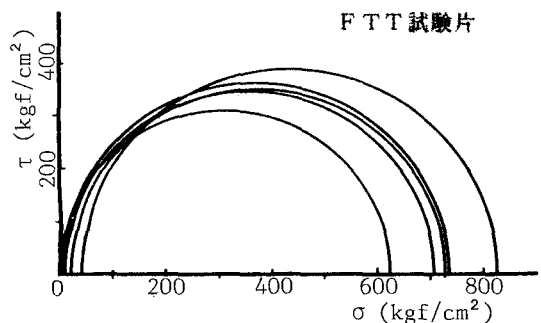


図-4 モールの破壊応力円

5. むすび

有限要素モデルの限界から、完全なFTTのシミュレーション解析であると断言できないが、試験片底部の連続性が破壊形式や強度定数に及ぼす影響を概ね把握できたものと考えられる。今後は異なる力学モデルを用いたシミュレーション解析とモデル実験を行い、検討を続けて行く予定である。